Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 31, No. 4, PP. 457~463, 1994.

# Si기판과 일정방향관계를 갖는 근사단결정 다이아몬드 박막 합성

백영준 · 은광용
한국과학기술연구원 세라믹스연구부
(1994년 1월 27일 접수)

# Highly Oriented Textured Diamond Film on Si Substrate

**Young-Joon Baik and Kwang Yong Eun**
Division of Ceramics, Korea Institute of Science and Technology
(Received January 27, 1994)

## 요 약

(100) 면방향의 Si기판과 동일 격자방향을 갖는 입자들의 집합조직으로 구성된 다이아몬드 박막의 형성조건에 대해 조사하였다. Biased enhanced nucleation(BEN) 방법과 집합조직 성장의 두과정을 이용하였다. BEN은 6%C$H_4$-94% $H_2$ 조성의 플라즈마하에서 −200 V의 bias를 기판에 인가하여 20분간 처리하였다. 집합조직은 기판이 접지된 상태에서 성장시켰고, 기판의 온도를 변수로 하여 집합조직의 방향을 변화시켰다. 집합조직의 방향에 따른 다이아몬드와 기판 사이의 mismatch의 변화를 미세조직을 중심으로 관찰하였다. 다이아몬드 입자와 기판과의 가장 완전한 match는 〈100〉 집합조직의 성장조건에서 얻을 수 있었고, 집합조직의 방향이 〈100〉에서 벗어남에 따라 tilt mismatch가 증가하였다. 어느 각 이상으로 집합조직의 방향이 벗어나게 되면 기판과 동일 방향관계를 갖는 핵의 우선 성장조건에서 벗어나게 되어, twist mismatch 또한 증가함을 보여주었다.

## ABSTRACT

The growth condition of highly oriented textured diamond film on a (100) Si substrate was investigated as a function of texture orientation. The growth process consisted of biased enhanced nucleation (BEN) and texture growth. The substrate was under the plasma of 6% $CH_4$-94% $H_2$ with negative bias of 200 V during the BEN while grounded during the texture growth. The texture orintation changed from 〈100〉 to 〈110〉 by increasing substrate temperature. The nearly perfect match between textured diamond grains and the Si substrate could be obtained under the condition of 〈100〉 texture. The degree of tilt mismatch increased with the increase of deviation of texture orientation from 〈100〉. The degree of twist mismatch appeared to increase abruptly beyond the critical deviation of texture orientation from 〈100〉 because the nuclei having the same orientation as the substrate were no more preferred grains for texture formation.

## 1. 서 론

다이아몬드의 우수한 반도체적, 열적, 기계적 특성등을 이용한 미래의 반도체를 개발하기 위한 노력이 경주되고 있다. 지난 10여년간 다이아몬드의 기상합성연구에 많은 투자와 노력을 들였음에도 불구하고 아직도 반도체적 응용을 위한 전망은 그다지 밝지 않은 형편이다. 다이아몬드의 반도체적 응용을 가로막는 가장 중요한 문제점으로 들 수 있는 것이 바로 이종기판위에서의 다이아몬드의 단결정박막(heteroepitaxial film)을 성장하는 것이다. 그리고 이 문제점을 해결하기 위하여 많은 노력들이 기울어져 왔다.

이종기판위에서 단결정박막을 성장시키기 위해서 만족되어야 할 점은 다이아몬드와 격자 상수값이 비슷한 기판의 확보와 기판을 2차원적으로 덮을 만큼 충분한 다이아몬드 핵의 밀도이다. 단결정박막의 합성을 위한 기판과의 격자상수값의 차이는 20% 이하가 되어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 기판은 입장정질화붕소(cubic

boron nitride)을 제외하고는 찾기 쉽지 않다. 한편 입방정질화 붕소에서의 다이아몬드 단결정 박막의 합성은 최근 실현되어[1] 단결정 다이아몬드막의 합성에 희망을 주고 있다. 그러나 사용 가능한 입방정 질화붕소의 크기가 작아 실제 응용에는 별 의미를 갖지 못한다.

다이아몬드가 이종기판위에서 핵형성이 힘들다는 것은 잘 알려진 사실이다[2]. 다이아몬드의 핵형성을 위해서 기판표면을 연마하는 방법이나 탄소를 함유하고 있는 물질을 도포하는 방법들이 사용되고 있다. 그러나 이들 방법은 근본적으로 형성된 다이아몬드의 핵이 기판의 특성과 무관하게 형성된 것이므로 기판과의 방향관계는 기대할 수 없다. 따라서 단결정 다이아몬드의 성장을 위해서는 별도의 처리에 의존하지 않고 기판과의 방향관계를 유지시킬 수 있는 다이아몬드의 핵형성이 가능한 방법이 사용되어야 한다.

이러한 조건들을 만족시키는 방법이 최근 발표되기 시작하였다. Bias Enhanced Nucleation(BEN)이라고 불리는 이 방법은 메탄을 함유한 기체의 플라즈마에 Si 기판을 놓고 음의 전기적 bias를 걸어 다이아몬드의 핵을 형성시키는 방법이다[3-8]. 전기적 bias를 인가하여 다이아몬드의 핵을 형성하는 방법은 1989년 Yugo 등[3]에 의해 제안이 되었으나 별 관심을 끌지 못하다가 Jiang 등[4]과 Stoner 등[5]에 의해 이 방법이 체계적으로 분석이 되면서부터 알려지기 시작하였다. Stoner 등[5]은 이 방법에 의해 기판과 일정한 방향성을 갖는 다이아몬드의 핵이 형성될 수 있음을 제시하였다. 그 후 Jiang 등[6]과 Stoner 등[7]은 기판과 일정방향 관계를 갖는 입자들로 구성된 근사 단결정 다이아몬드막의 합성을 보고하였다. 이들의 결과는 다이아몬드 박막의 단결정 성장의 가능성을 제시해 주는 결과로 큰 의미를 주고 있으며, 실제 보통의 다결정 다이아몬드막에 비해 월등히 큰 hole의 이동도를 보이고 있다[8].

근사 단결정 다이아몬드 박막의 합성은 BEN을 이용하여 기판과 동일 방향관계를 갖는 다이아몬드 핵의 밀도를 증가시키고, 이들 핵들을 임의의 방향을 갖는 핵에 비해 우선 성장 시킬 수 방법에 의해 진행된다. 따라서 일정방향관계를 갖는 입자들이 우선 성장할 수 있는 조건과 그 방법에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 근사 단결정 박막의 합성에 대한 이전보고들에서는 성공적으로 배열된 합성막에 대한 언급만이 되었을 뿐 성장조건에 따른 체계적인 보고는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 미세조직학적 측면에서 근사단결정 다이아몬드막이 형성될 수 있는 조건에 대한 체계적인 관찰을 하였다. 막을 구성하는 입자의 우선성장은 일정법칙을 따르게 된다. 이렇게 형성된 우선 성장 입자들을 집합조직(texture)이라 부른다. 다이아몬드의 경우 집합조직의 형성은 Evolutionary Selection Rule에 의해 결정됨은 본 저자에 의해 이미 실험적으로 규명되었다[9]. 그리고 이러한 집합조직의 우선성장 방향의 조절은 다이아몬드의 합성온도, 메탄의 첨가량, 그리고 산소의 첨가량을 조절하여 다이아몬드의 표면구조를 변경시킴에 의해 가능함을 보여주었다[9-11]. 본 연구에서는 이미 제안된 이러한 집합조직의 조절방법중 기판온도 조절에 의한 방법을 이용하여 BEN 후에 성장조건에 따른 다이아몬드 입자들의 우선성장양상을 우선성장방향에 따른 입자와 기판과의 격자방향의 mismatch 변화를 중심으로 관찰하려 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 근사단결정박막의 합성과정은 두 단계로 이루어진다. 이 방법은 Stoner 등[7]이 제시한 3단계 방법에서 1단계인 기판의 탄화과정(*carbonization* process)를 생략한 것이다. 이러한 방법은 Jiang 등[6]이 제시한 것과 비슷한 것으로 탄화과정이 없이도 다이아몬드의 핵형성밀도를 $10^{10}/cm^2$ 이상 균일하게 만들어 주었다[12].

1단계와 2단계에서 사용한 합성조건은 Table 1과 같다. 합성에 사용한 장치는 ASTEX에서 제작한 window 형태의 microwave plasma assisted CVD 장치이다. 혹연으로 제작된 직경 10 cm의 기판지지대는 유도가열에 의해 온도의 변화가 가능하도록 되어 있고 기판의 온도는 기판지지대 하부에 열전대를 접촉시켜 측정하도록 되어 있다. 기판의 전기적 bias는 바로 열전대를 통하여 외부에서 인가하도록 되어 있으며 300 V까지의 직류전압의 인가가 가능하였다. 그러나 인가전압이 200 V를 넘게 되면 microwave power나 압력의 값에 따라 arc가 발생하여 bias의 인가가 힘든 경우가 발생하기도 하였다.

기판은 (100)면 방향을 갖는 Si을 15 mm×15 mm 크

**Table 1.** Deposition Conditions for BEN and Texture Growth

| | Nucleation Stage | Growth Stage |
|---|---|---|
| M.W. power (W) | 600 | 700 |
| gas concentration | 6% $CH_4$-$H_2$ | 4% $CH_4$-$H_2$ |
| pressure (Torr) | 20 | 30 |
| temperature (℃) | 900 | 700~900 |
| time | 20 min | 1~20 |

기로 잘라 acetone으로 초음파 세척하여 사용하였다. 기판을 기판지지대의 중앙에 위치시킨 후 진공을 뽑고, 수소로 flushing한 후 다시 진공을 뽑았다. 기판의 온도를 900℃로 승온함과 동시에, 6% $CH_4$를 함유한 수소혼합기체를 흘려 20 Torr의 압력으로 승압시켰다. 온도와 압력이 원하는 값에 도달하였을 때 Table 1의 조건으로 1단계와 2단계의 합성을 진행하였다. 1단계에서의 bias 전압은 −200 V이었고 2단계에서는 접지된 상태로 처리하였다. 기판의 온도는 기판지지대 하부에 위치한 열전대의 측정온도와 실제 기판의 온도의 차이가 있어 기판의 표면온도를 적외선 광측정계로 측정하였다. 사용한 광측정계는 Minyolta의 IR 630 model의 단파장 측정계이었으며, emissivity는 0.43으로 고정하여 사용하였다. 따라서 실제 값과는 emissivity 차이만큼의 오차가 예상되나 이의 보정은 하지 않았다.

합성이 끝난 시편은 주사전자현미경을 이용하여 표면조직을 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

BEN에 의한 다이아몬드의 핵형성 증진효과는 bias에 의한 탄소원자의 기판으로의 주입효과에 의해 SiC 층의 형성이 촉진되고 바로 SiC 층이 다이아몬드의 핵형성의 점으로 작용할 것이라는 것이외에는 핵형성기구 등에 대한 명확한 이해는 되지 않은 실정이다. 투과전자현미경 관찰을통해 형성된 SiC 층이 결정형태나 또는 비정질 형태라는 점, 그리고 불연속적인 형태로 Si 기판위에 존재한다는 점[5] 등이 밝혀졌고, 결정형태의 SiC는 대부분이 Si 기판과 동일 방향관계(heteroepitaxial relation)를 가지고 있음이 관찰되었다. SiC가 다이아몬드의 핵형성 밀도를 증진시키는 물질이라는 점과 Si 기판과 동일방향관계를 갖는 SiC층이 Si 기판위에 많은 부분 존재한다는 사실로 부터 만일 다이아몬드가 SiC와 동일 방향관계를 가지고 SiC 위에 핵형성을 한다면 기판과 동일 방향관계를 갖는 다이아몬드 핵의 분률이 상당히 클 것으로 예상할 수 있다. 실제로 Si에서의 SiC의 단결정 박막이 잘 성장한다는 것은 잘 알려져 있고, 다이아몬드와 SiC의 격자상수의 차이가 20% 정도라는 것은 이러한 가능성이 말해준다.

(100) Si 기판위에 형성된 다이아몬드의 핵은 상당 분률이 기판과 동일 방향관계를 갖고 있다는 것일 뿐 모든 핵이 동일 방향관계를 갖고 있다는 것은 아니다. 따라서 기판과 동일한 방향관계를 갖는 다이아몬드의 핵만을 선택적으로 성장시켜 기판과 동일관계를 갖는 막을 성장시키기 위해서는 기판과 다이아몬드의 격자방향간의 두가지 mismatch 각을 고려하여야 한다. 하나는 기판표면의 수직방향을 축으로 회전에 의한 twist mismatch이고 다른 하나는 기판표면과 평행한 축으로 회전에 의한 tilt mismatch이다.

Tilt mismatch 관계를 갖는 입자들은 집합조직의 성장방법에 의해 완전한 제거가 이론적으로 가능하다. Evolutionary selection rule에 의한 집합조직의 성장에 있어서 우선적으로 성장하는 입자의 조건은 입자의 가장 빠른 성장방향이 기판의 수직방향과 일치하는 입자들이다. 즉 (100) 기판과 tilt mismatch가 없는 다이아몬드의 입자들을 우선 성장시키려면 기판의 수직방향이 〈100〉 방향이므로 다이아몬드 입자의 빠른 성장방향이 〈100〉 방향인 합성조건에서 성장시키면 된다[8].

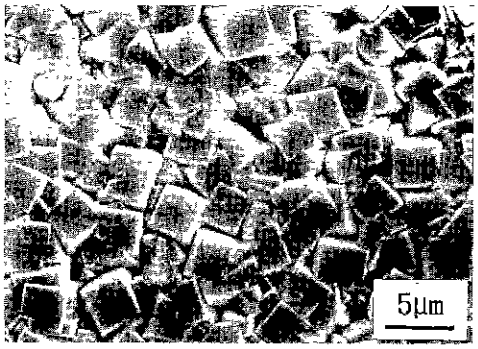
따라서 BEN에 의해 twist mismatch와 tilt mismatch가 거의 없는 핵의 밀도를 증진시키고 집합조직의 성장방법의 적절한 선택에 의하여 작은 twist mismatch를 갖는 입자들만의 집합조직을 성장시킬 수 있다.

다이아몬드막의 집합조직의 성장과 성장방향의 선택은 같은 조건에서의 단결정 입자의 상장형태로부터 유추될 수 있다[10]. 〈100〉 방향에 근사한 집합조직의 방향을 갖도록 하는 성장조건은 단결정입자의 형태가 truncated-octahedral 형태를 이루는 조건이다. 이때의 단결정 입자의 형태와 집합조직을 이루는 박막의 표면형태는 Fig. 1과 같다.

박막의 표면은 정사각형의 (100) 결정면으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 정사각형의 선의 방향은 〈110〉 방향이다. 그림에서 보듯 (100) 결정면의 수직방향은 기판의 수직방향에 가까움을 알 수 있다. 따라서 이들 입자들은 기판과 일정한 tilt mismatch 각을 이루고 있다. 그러나 이 경우 다이아몬드의 핵형성은 다이아몬드분말에 의한 표면처리에 의존하였기 때문에 초기에 형성된 핵의 결정방향은 임의의 방향을 갖는다. 이러한 이유로 (100)면의 선방향이 임의의 분포를 이루고 있다. 따라서 Fig. 1(b)에서 보여지는 입자의 방향성은 기판의 방향과는 무관하고 집합조직의 성장의 결과로 이루어진 것이다. 즉 이러한 입자의 방향성은 기판이 (100) 이외의 면방향을 갖는 경우에도 같게 만들 수 있다. 따라서 집합조직을 이루는 입자의 결정방향과 기판과의 tilt mismatch 각은 기판의 종류에 관계없이 집합조직의 성장조절에 의해 임의로 결정할 수 있다.

한편 BEN의 방법을 이용하여 핵을 형성시켜 주고 Fig. 1과 같은 조건으로 집합조직을 성장시키는 경우의 막의 표면조직은 그림 2와 같이 나타난다. Fig. 1의 (b)와의 큰

(a)

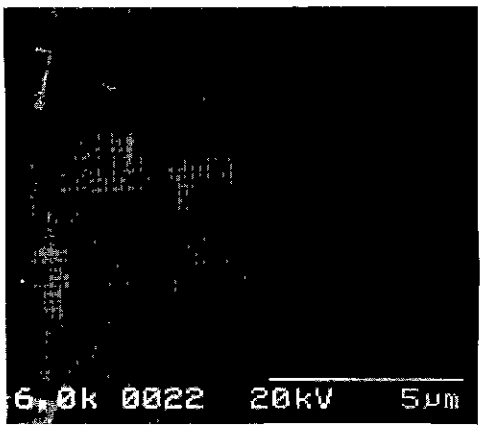



(b)

**Fig. 1.** Surface morphology of diamond particle film textured with near 〈100〉 orientation,

**Fig. 2.** Surface morphology of diamond film with highly oriented textured grains.

차이점은 (100) 면의 선이 일정방향으로 배열되어 있다는 점이다. 선의 〈110〉 방향은 기판의 〈110〉 방향과 일치하고 있다. 이것으로부터 BEN 방법에 의해 핵형성되고 집합조직을 이루며 형성된 입자들은 기판과 일정한 twist mismatch 관계를 갖는 상태임을 알 수 있다.




(a)

(b)

**Fig. 3.** Surface morphologies showing the evolution of oriented grains with deposition time: (a) 20 h, (b) 100 h.

앞서 설명한 바와 같이 기판과 같은 방향을 갖는 입자들의 성장은 집합조직의 형성과정에서 이루어지는데 합성시간에 따른 입자의 배열상태의 변화를 그림 3에서 볼 수 있다. 이 그림은 합성시간이 각각 20시간과 100시간일 때의 표면조직을 나타낸다. 시간이 지남에 따라 일정방향으로 배열된 입자의 수가 현저히 증가하였음을 알 수 있고 100시간 합성한 시편의 경우 대부분의 입자들이 한 방향으로 배열되어 있음을 알 수 있다. 이러한 점은 기판과 일정방향을 이루는 입자들은 집합조직의 형성과정에 의해 선택되며, 집합조직의 형성에는 일정시간이 필요함을 말해준다.

기판온도에 따른 표면조직 변화를 Fig. 4에서 볼 수 있다. 이 온도구간은 다이아몬드 결정입자의 형태가 octahedron에서 cubo-octahedron으로 변화하는 온도구

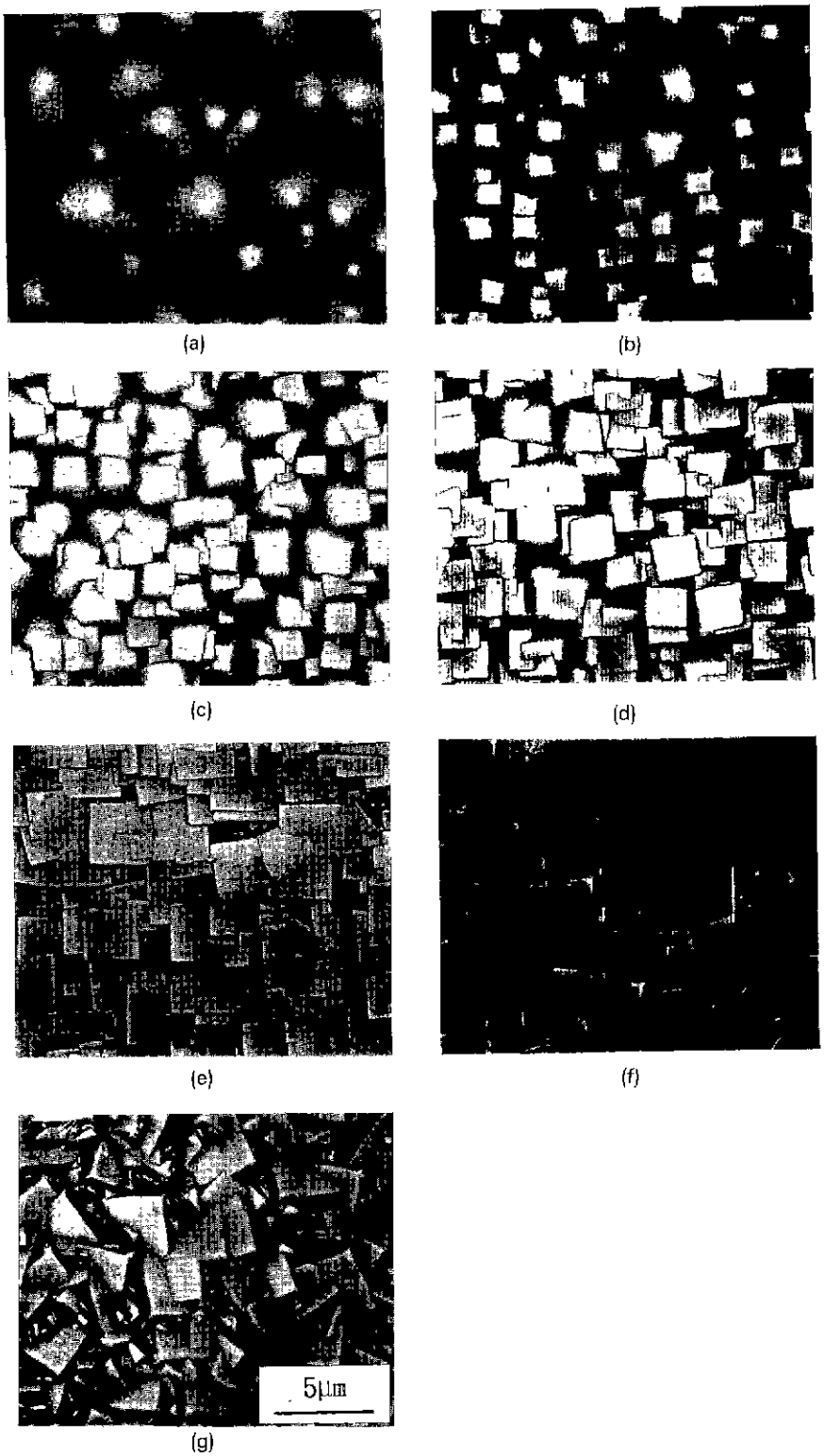



**Fig. 4.** Surface morphology of highly oriented textured diamond film grown for 170 h at different temperatures: (a) 730℃, (b) 740℃, (c) 750℃, (d) 760℃, (e) 770℃, (f) 780℃, (g) 810℃.

간[10,11]이고 이때 집합조직의 방향은 〈100〉에서 〈110〉으로 변화하는 구간이다[9]. 기판의 온도는 750℃ 부터 850℃ 까지의 값을 갖는다. (a)는 기판온도가 가장 낮은 경우의 표면조직으로 입자는 뚜렷한 결정면을 보이지 않는다. 그러나 이 구간은 입자가 octahedron의 (111) 결정면을 보여야 하는 구간이며 이때 집합조직은 완전한 〈100〉 방향을 갖는다. 기판온도가 조금 높은 경우 표면조직은 (b)와 같이 나타난다. 각 입자의 윗부분에 정사각형의 결정면이 뚜렷히 보이고 있다. 결정면 이외의 면들은 (a)와 마찬가지로 부드러운 곡면을 이루고 있다. 그러나 입자 하나당 한개의 결정면을 갖는 것으로 보아 이 입자들은 한개의 결정으로 이루어졌을 것으로 추정할 수 있다. 입자가 갖는 결정면들은 기판표면에 평행하고, 입자의 〈110〉 방향의 선들도 대부분 기판의 〈110〉 방향으로 배열되어 있다. 이들 두시편의 표면 조직으로부터 알 수 있는 것은, 비록 (a) 시편에서 (100) 결정면은 보이지 않으나 각 입자들은 완전한 〈100〉 집합조직을 이루고 있으며 이 조건에서 입자의 〈100〉 방향이 기판의 수직방향과 일치하기 때문에 tilt mismatch가 존재하지 않는 가장 이상적인 조건이라는 것이다. (b) 시편의 경우 집합조직의 방향은 〈100〉에서 〈110〉 방향으로 다소 벗어난 각도를 가지게 된다[9]. 따라서 이 경우 비록 표면의 (100)면이 기판과 평행하게 보일지라도 사실은 집합조직의 방향이 〈100〉 방향에서 벗어난 만큼의 tilt mismatch는 피할 수 없게 된다.

(c)는 기판온도가 더 높은 경우의 표면조직이다. (100)면의 크기가 더욱 커졌음을 알 수 있다. (100)면의 결정면의 크기의 증가는 막을 구성하는 입자의 성장형태가 octahedron에서 cubo-octahedron에 점점 가까워짐과, 따라서 집합조직의 방향도 점차 〈100〉 방향에서 멀어짐을 의미한다. 기판과의 tilt mismatch는 앞의 경우보다 증가하였으나 표면에서의 (100) 결정면의 분률은 더욱 증가하였다. 기판온도의 계속적인 증가에 따라 표면조직은 (d), (e), (f), (g)의 형태로 변화한다. (100)면의 표면분률은 점차 증가하여 (e), (f)에서는 막의 표면은 (100)면으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

한편 (g)와 같이 기판의 온도가 어느 이상 증가하게 되면 오히려 표면에서의 (100)면의 분률이 감소하기 시작하고 입자간의 twist mismatch도 증가하기 시작한다. 이러한 온도에서 합성한 집합조직의 방향은 〈100〉 방향에서 상당히 벗어나 있게 되므로, 기판과 같은 방향관계를 갖는 핵은 더이상 우선 성장을 할 수 없게 된다. 따라서 막을 구성하는 입자들은 집합조직의 방향에 의해 결정되는 기판과의 일정한 tilt mismatch 만을 가지고 있을 뿐, 특정한 twist mismatch 관계는 더이상 기대 할 수 없게 된다.

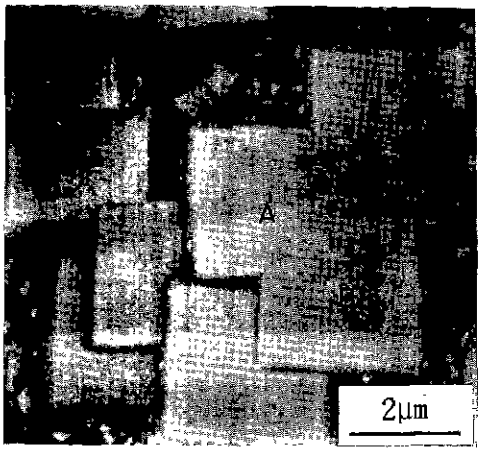



**Fig. 5.** Magnified surface morphology of the diamond film shown in Fig. 4(d).

앞의 실험결과에서 설명하였듯이 입자들 사이에는 약간의 mismatch가 존재하는 것을 피할 수 없다. Fig. 5는 잘 배열된 입자들의 확대된 조직을 보여준다. 그림의 A와 B입자는 완벽한 match를 이루고 있어 (100)면이 완전히 평평하고 입계의 존재가 확인되지 않고 있다. 반면 다른 입자들과의 사이에는 작은 각을 형성하는 tilt mismatch나 twist mismatch가 관찰된다. Tilt mismatch는 집합조직의 성장을 이용하여 완전한 제거가 가능함은 앞에서 설명한 바와 같다. 그러나 여기 존재하는 약간의 twist mismatch는 다이아몬드 핵의 형성시 이미 기판인 Si에 SiC의 핵이, 그리고 SiC 위에 다이아몬드의 핵이 형성될 때 각 물질간의 misfit을 상쇄하기 위한 misfit dislocation의 형성단계에서 이미 결정된 것이다. 따라서 이 단계에서 misfit dislocation의 burgers vector의 방향이나 밀도 등의 제어가 이루어지지 않으면 근본적으로 제어하기 힘들다.

## 4. 결 론

BEN과 집합조직의 조절에 의하여 (100)면 방향을 갖는 Si 기판과 tilt mismatch와 twist mismatch가 매우 작은 다이아몬드막을 합성할 수 있었다. Twist mismatch의 제어는, negetive bias 조건에서의 탄소의 주입효과에 의한, 기판과 동일 방향을 갖는 다이아몬드 핵의 밀도증가로 가능하였으며, tilt mismatch의 제어는 집합조직의 성장방향의 조절에 의해 가능하였다. (100) Si기판

기판과의 완전한 match를 이루는 성장조건은 집합조직의 형성조건에서 완전한 〈100〉 방향을 갖는 집합조직의 성장에 의해 가능하나 이 조건에서 박막표면의 (100)면은 형성되지 않는다. 따라서 실제로 관찰되어지는 정사각형의 (100)면으로 이루어진 근사 단결정 박막은 기판과 또는 각 입자끼리 작은 tilt mismatch를 이루는 상태로 이 조건에서는 입자끼리의 완전한 match를 이루기는 힘든 것으로 판단되었다.

## REFERENCES


1. T. Inuzuka, S. Koizumi and K. Suzuki, "Epitaxial Growth of Diamond Thin Films on Foreign Substrates," *Diamond & Rel. Mat.*, **1**, 175-179 (1991).
2. K.E. Spear, "Diamond-Ceramic Coating of the Future," *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**, 171-191 (1989).
3. S. Yugo, T. Kimura and T. Muto, "Effects of Electric Field on the Growth of Diamond by Microwave Plasma CVD," *Vacuum*, **41**(4-6), 1364-1367 (1990).
4. X. Jiang, R. Six, C.-P. Klages, R. Zachai, M. Hartweg and H.-J. Fuber, "The Effect of Substrate Bias Voltage on the Nucleation of Diamond Crystals in a Microwave Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition Process," *Diamond & Rel. Mat.*, **2**(2-4), 407-412 (1992).
5. B.R. Stoner, G.-H. M. Ma, S.D. Wolter and J.T. Glass, "Characterization of Bias-Enhanced Nucleation of Diamond on Silicon by in Vacuo Surface Analysis and Transmission Electron Microscopy," *Phys. Rev. B*, **45** (19), 11067-11084 (1992).
6. X. Jiang and C.-P. Klages, "Heteroepitaxial Diamond Growth on (100) Silicon," *Diamond & Rel. Mat.*, **2**(2-4), 1112-1113 (1993).
7. B.R. Stoner, S.R. Sahaida and J.P. Bade, "Highly Oriented, Textured Diamond Films on Silicon via Bias-Enhanced Nucleation and Texture Growth," *J. Mat Res.*, **8**(6), 1334-1340(1993).
8. B.R. Stoner, C.-T. Kao, D.M. Malts and R.C. Glass, "Hall Effect Measurements on Boron-Doped, Highly Oriented Diamond Films Grown on Silicon Via Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition," *Appl. Phys. Lett.*, **62**(19), 2347-2349 (1993).
9. Y.-J. Baik and K.Y. Eun, "Texture Formation of Diamond Film Synthesized in the C-H-O System," *Thin Sol. Films.*, **214**, 123-131 (1992).
10. Y.-J. Baik and K.Y. Eun, "Habit Modification of Gas Phase Synthesized Diamond Particles in the C-H-O System," *Thin Sol. Films*, **212**, 156-163 (1992).
11. Y.J. Baik, K.Y. Eun and A. Badzian, "Effect of Growth Plane Index of Polycrystalline Diamond Film on Raman Spectrum," pp. 709-714 in 2nd international Conference on the Applications of Diamond Films and Related Materials, Ed. by M. Yoshikawa, M. Murakawa, Y. Tzeng and W. A. Yarbrough, MYU, Tokyo, Japan 1993.
12. Y.J. Baik, unpublished work (1993).